

А.О. ЛОВСЬКА**МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНОГО ПОЇЗДА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ**

В статті проводиться дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при перевезенні на залізничному поромі у складі комбінованого поїзда. Для визначення прискорень, як складової динамічного навантаження, що діє на контейнер-цистерну при коливаннях залізничного порому, складено математичну-модель за методом Лагранжа II роду. До уваги прийняті кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі (крен), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами-цистернами, а також забезпечення їх стійкості відносно палуби. Враховано, що вагон-платформа жорстко закріплений відносно палуби, а контейнера-цистерни відносно фітингових упорів та не мають власного ступеня вільності при коливаннях залізничного порому, тобто у коливальному процесі приймає участь тільки наливний вантаж, переміщення якого обмежені стінками котла. Розв'язання математичної моделі здійснено за допомогою метода Рунге-Кутти в середовищі програмного забезпечення MathCad. Визначено максимальне прискорення, яке діє відносно штатного місця контейнера-цистерни при коливаннях залізничного порому. Загальна величина прискорення також враховує горизонтальну складову прискорення вільного падіння, обумовлену кутом крену залізничного порому. Отримані результати враховані при розрахунку на міцність контейнера-цистерни за методом скінчених елементів, реалізованого в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в удосконаленій несучій конструкції контейнера-цистерни не перевищують допустимі. Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні контейнерів-цистерн нового покоління, а також сприятимуть підвищенню ефективності комбінованих перевезень в міжнародному сполученні.

Ключові слова: контейнер-цистерна; несуча конструкція; динаміка; моделювання; міцність; залізнично-поромні перевезення.

А.А. ЛОВСКАЯ**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЕЗДА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ**

В статье проводится исследование динамической нагруженности контейнера-цистерны усовершенствованной конструкции при перевозке на железнодорожном пароме в составе комбинированного поезда. Для определения ускорений, как составляющей динамической нагрузки, которая действует на контейнер-цистерну при колебаниях железнодорожного парома, составлена математическая модель по методу Лагранжа II рода. Ко вниманию приняты угловые перемещения железнодорожного парома относительно продольной оси (крен), как случая наибольшей нагруженности несущей конструкции вагона-платформы с контейнерами-цистернами, а также обеспечения их устойчивости относительно палубы. Учтено, что вагон-платформа жестко закреплена относительно палубы, а контейнера-цистерны относительно фитинговых упоров и не имеют собственной степени свободы при колебаниях железнодорожного парома, то есть в колебательном процессе участвует только наливной груз, перемещения которого ограничены стенками котла. Решение математической модели осуществлено с помощью метода Рунге-Кутты в среде программного обеспечения MathCad. Определено максимальное ускорение, которое действует относительно штатного места контейнера-цистерны при колебаниях железнодорожного парома. Общая величина ускорения также включает горизонтальную составляющую ускорения свободного падения, обусловленную углом крена железнодорожного парома. Полученные результаты учтены при расчете на прочность контейнера-цистерны по методу конечных элементов, реализованного в среде программного обеспечения CosmosWorks. Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения в усовершенствованной несущей конструкции контейнера-цистерны не превышают допустимые. Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании контейнеров-цистерн нового поколения, а также будут способствовать повышению эффективности комбинированных перевозок в международном сообщении.

Ключевые слова: контейнер-цистерна; несущая конструкция; динамика; моделирование; прочность; железнодорожно-паромные перевозки.

А.О. LOVSKA**SIMULATION OF LOADS FOR A TANK CONTAINER INCLUDED IN COMBINED TRAINS TRANSPORTED BY TRAIN FERRY**

The article deals with the research into dynamic loading of a tank container of improved structure included in a combined train transported by train ferry. In order to define accelerations as a dynamic loading component on the tank container under train ferry vibrations, a mathematical model was built with the method of Lagrange multipliers of the second kind. The research considered angular displacements of the train ferry relative to the longitudinal axle (careen), as the maximum loading of the carrying structure of a flat wagon with tank containers, and also their stability relative to the deck. It was considered that the flat wagon was rigidly fixed relative to the deck, and the tank wagons – relative to the fitting stops and did not have their own degree of freedom under train ferry vibrations, i.e. the only fluid cargo, limited by the tank walls, could vibrate. The mathematical model was solved by the Runge-Kutta

method in the MathCad environment. The maximum acceleration on the normal position of the tank container under train ferry vibrations was defined. The general acceleration value also considered the horizontal component of the free fall acceleration conditioned by the train ferry's angle of heel. The results obtained were considered in the capacity calculation of a tank wagon with the Finite Element Method in the CosmosWorks environment. The calculation showed that the maximum equivalent loads for the improved carrying structure of a tank wagon did not exceed the admissible ones. The results of the research conducted can be applied in designing new generation tank containers; they may also promote higher efficiency of the international combined transportation.

Keywords: tank container; carrying structure; dynamics; simulation; capacity; train ferry transportation.

Вступ. Розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг вимагає введення в експлуатацію інтероперабельного рухомого складу для міжнародного сполучення. На сьогоднішній день через територію України проходять три Пан'європейські міжнародних транспортні коридори, які сполучають її з Болгарією, Грузією, Туреччиною, Білоруссю, Польщею та іншими державами, а з 2016 р. ще і з Китаєм транспортним коридором новий «Шовковий шлях», складовою якого є залізнично-поромний маршрут через акваторію Чорного моря.

Одним з найбільш масових та мобільних видів транспортних засобів, що знайшли використання у міжнародному сполученні є контейнери, а також контейнери-цистерни. Інтермодальність контейнерів прогнозує підвищення рівня їх затребуваності при комбінованих перевезеннях.

Для підвищення ефективності перевізного процесу у міжнародному сполученні необхідним є впровадження в експлуатацію контейнерів з покращеними техніко-економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обґрунтування доцільності проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн, як транспортних засобів наведено в [1]. Розроблено нову оптимізовану конструкцію контейнера-цистерни для перевезення світлих нафтопродуктів.

Особливості випробування металевих та композитних контейнерів під впливом низьких температур наведені у [2]. Визначено, які типи контейнерів доцільно використовувати для перевезення завданої номенклатури вантажів з урахуванням низької температури навколишнього середовища.

Особливості конструкцій та перспективи використання транспортних засобів для рідкого водню розглянуті у [3]. Приведений аналіз конструкції перспективного контейнера-цистерни моделі КЦВ-20/1,2.

Проблеми безпеки та особливості перевезення хімічних наливних вантажів в танк-контейнерах розглянуті у [4].

Особливості розрахунку на міцність танк-контейнера при експлуатаційних режимах навантаження з використанням засобів програмного забезпечення та натурного експерименту наведені у [5].

Особливості створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному етапі розвитку висвітлені у [6].

Дослідження міцності контейнера-цистерни моделі ТК25 та оптимізація його несучої конструкції наведені в [7]. При складанні моделі міцності контейнера-цистерни враховані нормативні величини наван-

тажень, наведені в [8].

Необхідно зазначити, що у розглянутих працях не приділялося уваги питанням дослідження динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій контейнерів-цистерн у складі поїздів комбінованого транспорту при перевезенні залізничним поромом.

Мета статті. Метою досліджень, які наведені в статті є висвітлення особливостей моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі.

Викладення основного матеріалу статті. Для підвищення ефективності комбінованих перевезень через міжнародні транспортні коридори запропоновано нову удосконалену конструкцію контейнера-цистерни (рис. 1). Особливістю контейнера-цистерни є те, що несучі елементи каркасу виготовлені з труб круглого перерізу. Це дозволило значно зменшити його масу у порівнянні з контейнером-прототипом [7, 9].

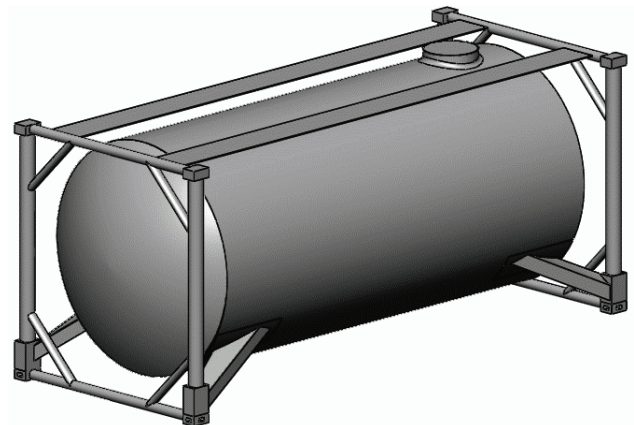


Рисунок 1 – Контейнер-цистерна удосконаленої конструкції

Для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни у складі комбінованого поїзда при перевезенні на залізничному поромі складено математичну модель (1). До уваги прийняті кутові переміщення вагона-платформи з контейнерами-цистернами навколо повздовжньої осі X на кут θ при коливаннях залізничного порому (еквівалент коливань бічна хитається в «Динаміці вагонів»), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами-цистернами, а також забезпечення їх стійкості відносно палуби.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Герой Шипки», що рухається акваторією Чорного моря. В якості базової моделі вагона-платформи обрана модель 13-4012.

Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту до уваги не приймалася. При складанні моделі враховано

трохоїдальний закон руху збурюючої дії [10] (морської хвилі) на залізничний пором з вагонами, розміщеними на його палубах (2) та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях залізничного порому в умовах морської хитаючи, а також курсові кути морської хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому ($\chi = 0^\circ - 180^\circ$) та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію залізничного порому, вагона-платформи, розміщеного на верхній палубі та контейнерів-цистерн.

На першопочатковому етапі дослідження до уваги прийнятий випадок відсутності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів-цистерн відносно рами вагона-платформи при коливаннях залізничного порому, тобто у коливальному процесі приймає участь тільки наливний вантаж, переміщення якого обмежені стінками котла (рис. 2).

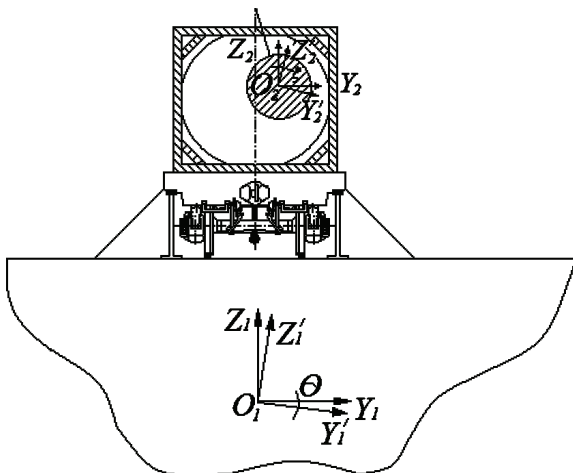


Рисунок 2 – Схема переміщень наливного вантажу в котлі контейнера-цистерни при коливаннях залізничного порому

У якості наливного вантажу прийнятий бензин. Визначення гідродинамічних характеристик наливного вантажу здійснювалося з урахуванням максимально-допустимої завантаженості котла контейнера-цистерни у відповідності з [11]. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників [12].

Розв'язання математичної моделі здійснено за допомогою метода Рунге-Кутти в середовищі програмного забезпечення MathCad [13, 14].

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що максимальні прискорення, які діють на контейнер-цистерну складають близько $0,9 \text{ м/с}^2$ (рис. 3).

Загальна величина прискорення, яке діє на контейнер-цистерну з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленої кутом крену залізничного порому, складає близько $2,97 \text{ м/с}^2$ ($0,3g$).

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = \\ = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t); \\ I_{ij} \cdot \ddot{q}_2 - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{q}_1 + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot q_2 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $q_1 = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому відносно повздовжньої осі; $q_2 = \xi$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому відхиленню j -го маятника від вертикалі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

для залізничного порому:

D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збурює рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

для наливного вантажу:

I_{ij} – момент інерції маятника; m_{ij} – маса j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; c_{ij} – відстань від площини $z_i = 0$ до точки закріплення j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; l_{ij} – довжина j -го маятника.

$$\begin{aligned} x &= a + R e^{ib} \sin(ka + \omega t), \\ z &= b - R e^{ib} \cos(ka + \omega t), \end{aligned} \quad (2)$$

де a та b – горизонтальна та вертикальна координати центра траєкторії, за якою обертається частинка, що має на даний час координати x та z ; R – радіус траєкторії, за якою здійснюється оберт частинки; ω – частота морської хвилі; k – частота траєкторії збурюючого зусилля.

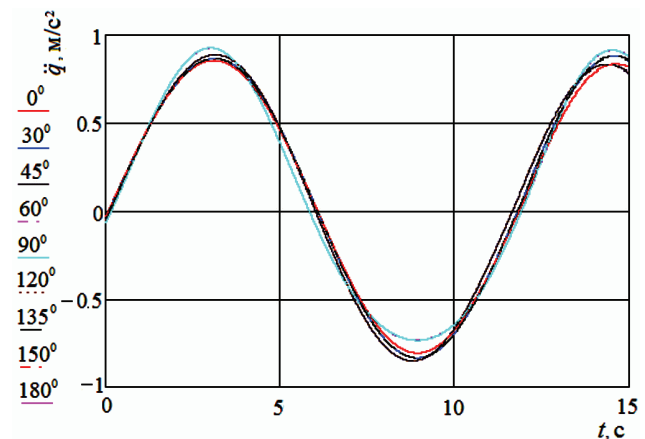


Рисунок 3 – Прискорення, які діють відносно штатного місця розміщення контейнера-цистерни на палубі залізничного порому

Отримана величина прискорення врахована при дослідженні міцності несучої конструкції контейнера-цистерни (рис. 4).

При побудові моделі міцності контейнера-цистерни враховано такі навантаження: вертикальне P_v , обумовлене вагою бруто контейнера-цистерни, тиск наливного вантажу на котел $P_{вант}$, реакції у зонах обпирання фітингів на горизонтальні площини фітингових упорів $P_{он}$, горизонтальні реакції у фітингах P_p на дію динамічного навантаження P_d .

Для визначення показників міцності контейнера-цистерни застосований метод скінчених елементів. Розрахунок проведений в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

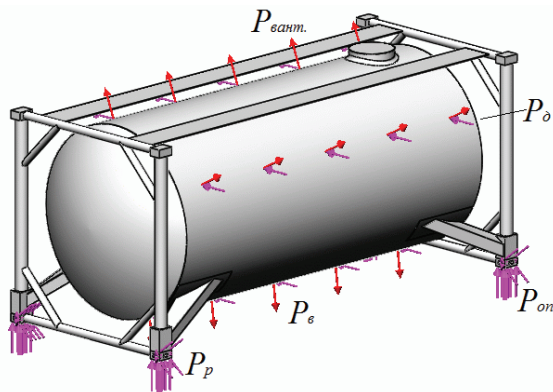


Рисунок 4 – Модель міцності контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі у складі комбінованого поїзду

У якості скінчених елементів використані ізопараметричні тетраедри, оптимальна чисельність яких визначена за графоаналітичним методом. Кількість елементів сітки склала 1154094, вузлів – 374473. Максимальний розмір елементу сітки дорівнює 20,0 мм, мінімальний – 4,0 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 473,48, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 37,4, більше десяти – 0,704. Мінімальна кількість елементів в колі – 9, співвідношення збільшення розміру елементу – 1,7.

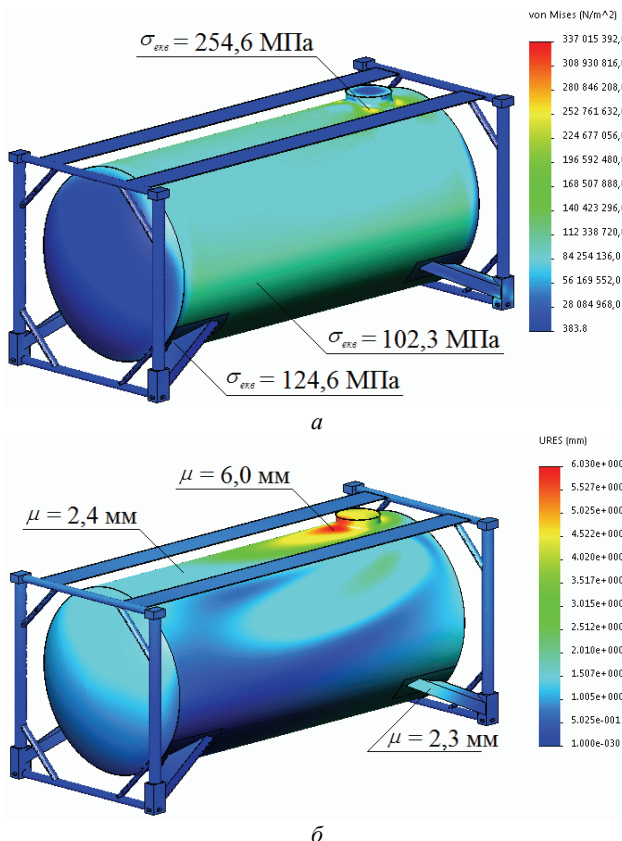


Рисунок 5 – Результати розрахунку на міцність несучої конструкції контейнера-цистерни: а – напружений стан; б – переміщення в вузлах конструкції

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання контейнера-цистерни на фітингові упори вагона-платформи.

на-платформи. В якості матеріалу несучої конструкції контейнера-цистерни застосована сталь марки 09Г2С, зі значенням межі міцності $\sigma_B = 490$ МПа та межі плинності $\sigma_T = 345$ МПа [15, 16].

Результати розрахунку наведені на рис. 5. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в конструкції контейнера-цистерни викають у зоні розташування завантажувального люка та складають близько 250 МПа, що нижче за напруження плинності матеріалу конструкції майже на 30 %. В зоні взаємодії надбудови для розміщення вертикальної стійки з фітингом максимальні еквівалентні напруження складають близько 140 МПа.

Максимальні переміщення в конструкції контейнера-цистерни також виникають у зоні розташування завантажувального люка та складають 6 мм. У зонах взаємодії опорних елементів котла з підкладними листами максимальні переміщення склали близько 2 мм.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що міцність удосконаленої конструкції контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі у складі комбінованого поїзда забезпечується.

Наступним етапом дослідження є визначення динамічних навантажень, які діють на контейнер-цистерну з урахуванням наявності власного ступеня вільності відносно рами вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

1. Проведено дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Отримано уточнене значення прискорення, яке діє на несучу конструкцію контейнера-цистерни;

2. Визначено максимальні еквівалентні напруження, які діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. Встановлено, що міцність контейнера-цистерни при заданій величині динамічного навантаження забезпечується;

3. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації комбінованого транспорту через міжнародні транспортні коридори.

Список літератури

1. Мямлин С.В. Перспективные конструкции контейнеров-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов / С.В. Мямлин, Ю.В. Кебал, С.М. Кондратюк // Залізничний транспорт України. – 2012. – №2. – С. 44-46.
2. Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips / J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström [et al.] // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2015. – Vol. 05, Iss. 01. – P. 32-39. – doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.
3. Черемных О.Я. Создание, совершенствование конструкции, перспектива развития транспортных средств для жидкого водорода / О.Я. Черемных // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – № 3. – С. 1-19. – DOI 10.18698/2308-6033-2017-3-1602
4. Пономаренко М.А. Перевозки химических наливных

грузов в танк-контейнерах: проблемы безопасности и особенности их транспортировки / М.А. Пономаренко, И.А. Рушинов // Транспорт. – 2017. – № 5. – С. 156-160.

5. Makeev S.V. Особенности расчета напряженно-деформированного состояния танка-контейнера с учетом реального нагружения в эксплуатации / С.В. Макеев, П.М. Буilenков // Наука – образование – производство: Опыт и перспективы развития : сборник материалов XIV Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Е.Г. Зудова (8–9 февраля 2018 г.) : в 2-х т. – Т. 1: Горно-металлургическое производство. Машиностроение и металлообработка. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2018. – С. 174-184.

6. Fomin O.V. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – No 1. – P.45-48.

7. Ловська А.О. Удосконалення контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів шляхом впровадження в їх несучі конструкції круглих труб / А.О. Ловська, О.М. Мельничук, О.В. Фомін // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 1. – С. 40-44.

8. Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности. ГОСТ 31232. – [Действителен от 28.03.2005] – Минск: НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)», 2005. – 6 с.

9. Ловська А.О. Дослідження міцності контейнерів-цистерн удосконаленої конструкції при комп'ютерному моделюванні експлуатаційних умов / А.О. Ловська, О.В. Фомін, А.М. Окорков, О.М. Мельничук // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 2. – С. 180-188.

10. Луговский В.В. Динамика моря: Избр. вопросы связи с учением мореходности корабля : Учебник для втузов по специальности «Гидроаэродинамика» / В.В. Луговский. – Л.: Судостроение, 1976. – 199 с.

11. Правила перевозок опасных грузов. К соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении. Том 3 / ОСЖД. 2011. 531 с.

12. Богомаз Г.И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г.И. Богомаз, Д.Д. Мехов, О.П. Пилипенко, Ю.Г. Черномашенцева // Зб. наук. праць «Динаміка та керування рухом механічних систем» – К.: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. – С. 87-95.

13. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: спец. справ. / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 592 с.

14. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.

15. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных) / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

16. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. – [Действителен от 22.12.2014] – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.

References (transliterated)

1. Myamlin S.V., Kebal Yu.V., Kondratyuk S.M. Perspektivnye konstruksii konteynerov-tsistern dlya perevozki svetlyih nefteproduktov, ammiaka i uglevodorodnyh gazov. Zaliznichnyi transport Ukraini. 2012. No 2. P. 44-46.

2. Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips. J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström et al. Journal of Sustainable Bioenergy Systems. 2015. Vol. 05, iss. 01. P. 32-39. doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.

3. Cheremnyih O.Ya. Sozdanie, sovershenstvovanie konstruksii, perspektiva razvitiya transportnyh sredstv dlya zhidkogo vodoroda. Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii. 2017. No 3. P. 1-19. DOI 10.18698/2308-6033-2017-3-1602.

4. Ponomarenko M.A., Rusinov I.A. Perevozki himicheskikh nalivnykh грузов v tank-konteynerah: problemy bezopasnosti i osobennosti ih transportirovki. Transport. 2017. No 5. P. 156-160.

5. Makeev S.V., Builenkov P.M. Osobennosti rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tanka-konteynera s uchetom realnogo nagruzheniya v ekspluatatsii. Nauka – obrazovanie – proizvodstvo: Opyt i perspektivy razvitiya : sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati doktora tehnikeskikh nauk, professora E.G. Zudova (8–9 fevralya 2018 g.): in 2 vol. – Vol. 1: Gornometallurgicheskoe proizvodstvo. Mashinostroenie i metalloobrabotka. Nizhniy Tagil : NTI (filial) UrFU, 2018. P. 174-184.

6. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No 1. P.45-48.

7. Lovska A.O., Melnichuk O.M., Fomin O.V. Udskonalennya konteyneriv-tsistern dlya perevezennya naftoproduktiv shlyahom vprovadzhennya v yih nesuchi konstruksiyi kruglykh trub. Zaliznichnyi transport Ukrayini. 2015. No 1. P. 40-44.

8. Konteynery dlya perevozki opasnykh грузов. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti. GOST 31232. [Deystvitelen ot 28.03.2005] Minsk: NP RUP «Belorusskiy gosudarstvenniy institut standartizatsii i sertifikatsii (BelGISS)», 2005. 6 p.

9. Lovska A.O., Fomin O.V., Okorokov A.M., Melnichuk O.M. Doslidzhennya mitsnosti konteynera-tsisterni udskonalenoyi konstruksiyi pri komp'yuternomu modelyuvanni ekspluatatsiynih umov. Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu. 2015. No 2. P. 180-188.

10. Lugovskiy V.V. Dinamika morya: Izbr. voprosyi svyaz. s ucheniem morehodnosti korablya: Uchebnik dlya vtuzov po spetsialnosti «Gidroaerodinamika». Leningrad: Sudostroenie, 1976. 199 p.

11. Pravila perevozok opasnykh грузов. K soglasheniyu o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom грузовом сообщении. Vol. 3 / OSZhD. 2011. 531 p.

12. Bogomaz G.I., Mehov D.D., Pilipchenko O.P., Chernomashentseva Yu.G. Nagruzhenost konteynerov-tsistern, raspolozhennykh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepk. Zb. nauk. prats «Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem» – Kyiv: ANU, Institut tehnichnoyi mehaniki, 1992. P. 87-95.

13. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: spets. sprav. Sankt-Peterburg : Piter, 2000. 592 p.

14. Kiryanov D.V. Mathcad 13. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2006. 608 p.

15. Normyi dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnykh). Moscow: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. 319 p.

16. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] Moscow: Standartinform, 2016. 54 p.

Надійшла (received) 30.07.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ловська Альона Олександрівна (Ловская Алена Александровна, Lovska Alyona Oleksandrivna) – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри вагонів; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.